

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 24320131152449

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于深度卷积神经网络的人脸识别的研究
与应用

Research and Application of Face Recognition Based on
Deep Convolutional Neural Networks

万经勇

指导教师姓名: 王备战 教授

专业名称: 软件工程

论文提交日期: 2016年4月

论文答辩日期: 2016年5月

学位授予日期: 2016年 月

指导教师: _____

答辩委员会主席: _____

2015年4月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ）1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ）2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

人脸识别是计算机视觉领域中研究的热点之一，不仅是因为以自然脸为研究对象是非常有挑战性的，而且有很多应用需要将人脸识别作为第一步。近年来，随着智能手机的普及，每天有成千上万的照片被上传到社交网络平台，如微博、微信等等，其中包括大量的人脸照片。深度学习是近十年来人工智能领域取得的重要突破，深度学习通过建立类似于人脑的分层模型结构，对输入数据逐级提取从底层到高层的特征，从而能很好地建立从底层信号到高层语义的映射关系。本文以深度学习的方法在人脸识别中的研究与应用为研究对象。

论文首先介绍了研究的背景和意义，对人脸识别、人工神经网络和卷积神经网络等相关概念进行了简要介绍；然后详细介绍了利用深度卷积神经网络进行人脸检测和人脸识别的方法以及深度卷积神经网络模型，包括 DDFD 和 VGG -Face 等，对其结构、模型和算法进行了深入分析，并详细阐述了深度卷积神经网络的训练过程，在已有深度学习模型上通过微调网络的方式，训练符合实际应用的深度学习模型，对深度卷积神经网络提取特征的过程进行可视化，使得深度学习过程变得更加透明和可以理解；最后通过实验详细描述了深度卷积神经网络模型在实际应用中的操作流程以及实验结果的展示。

实验结果表明，利用深度学习的方法进行人脸检测和人脸识别效果显著，能够提高检测和识别性能，且对人脸姿势、光照和遮挡等有一定的鲁棒性。

关键词：人脸识别；卷积神经网络；深度学习

Abstract

Face recognition is one of the most studied topics in computer vision literature, not only because of the challenging nature of face as an object, but also due to the countless applications that require the application of face recognition as a first step. In recent years, with the wide spread use of smartphone, millions of photos are uploaded everyday to the social networks such as Weibo, WeChat and so on, which include many faces. Deep learning is an important breakthrough in artificial intelligence of the past ten years, it simulates the hierarchical structure of human brain, processing data from lower level to higher level, and gradually composing more and more semantic concepts. This dissertation focuses on face detection and recognition based on deep learning.

Firstly, the dissertation introduces the background and the importance of the research, then gives an overview of the concept of face recognition, artificial neural networks and convolutional neural networks(CNN). Secondly, the method of face detection and recognition based on deep learning is described in detail, including DDFD and VGG-Face. The structure, model, algorithm and the training of deep convolutional neural networks are illustrated. Fine-tuning the deep CNN model makes it more appropriate to our practical application. By visualizing the feature extraction of the deep CNN, we understand it easier and make it more transparency. Finally, the operation process of the practical application and the experimental results are showed.

Experimental results show that the method based on deep learning for face detection and face recognition is remarkable, which can improve the performance of face detection and recognition and .is robust to face poses, lighting and occlusions.

Key Words: Face Recognition; Convolutional Neural Networks; Deep Learning

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 论文主要研究内容	4
1.4 论文组织结构	5
第二章 相关理论介绍	6
2.1 人脸识别	6
2.2 人工神经网络	7
2.2.1 激发函数	7
2.2.2 神经网络	8
2.3 卷积神经网络	9
2.3.1 感受野	10
2.3.2 局部连接	11
2.3.3 权值共享	11
2.3.4 最大池采样	12
2.4 AlexNet	13
2.5 IoU (Intersection over Union)	13
2.6 非极大值抑制	14
2.7 Caffe	15
2.8 Fine-tuning	16
2.9 本章小结	17
第三章 基于深度卷积神经网络的人脸检测研究	18
3.1 目标检测算法	18
3.1.1 R-CNN	18

3.1.2 DDFD.....	18
3.2 DDFD 人脸检测模型.....	19
3.2.1 Fine-tuning AlexNet.....	20
3.2.2 全卷积网络.....	21
3.2.3 多尺度检测.....	23
3.2.4 定位人脸位置.....	24
3.3 本章小结.....	24
第四章 基于深度卷积神经网络人脸识别研究.....	26
4.1 VGG 简介.....	26
4.2 VGG 结构.....	26
4.3 VGG 特点.....	28
4.4 VGG-Face	28
4.4.1 学习一个人脸分类器.....	29
4.4.2 使用 triplet loss 进行特征再学习.....	29
4.5 人脸识别模型训练.....	29
4.5.1 准备数据集.....	30
4.5.2 计算数据集的均值文件.....	30
4.5.3 修改网络结构.....	30
4.5.4 修改 Slover 参数	31
4.6 特征聚合	32
4.7 本章小结	33
第五章 基于深度卷积神经网络的人脸识别应用	35
5.1 应用简介	35
5.2 实验环境.....	37
5.2.1 硬件环境.....	37
5.2.2 实验数据.....	37
5.3 人脸检测模型应用	38
5.3.1 生成训练数据.....	38
5.3.2 网络结构设计.....	41

5.3.3 训练网络模型.....	42
5.3.4 定位人脸位置.....	43
5.4 人脸识别模型应用.....	43
5.5 实验结果.....	48
5.5.1 人脸检测结果.....	48
5.5.2 人脸识别结果.....	51
5.6 本章小结.....	53
第六章 总结与展望.....	54
6.1 总结.....	54
6.2 展望.....	54
参考文献.....	56
硕士学位期间发表学术论文情况.....	59
致谢.....	60

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Background and Significance	1
1.2 Overseas and Domestic Research Status	3
1.3 Main Research Contents	4
1.4 Structure Arrangements.....	5
Chapter 2 Related Theories Overview.....	6
2.1 Face Recognition	6
2.2 Artificial Neural Network.....	7
2.2.1 Activation Function.....	7
2.2.2 Neural Network.....	8
2.3 Convolutional Neural Networks	9
2.3.1 Receptive Field	10
2.3.2 Local Connectivity	11
2.3.3 Parameters Sharing	11
2.3.4 Max Pooling.....	12
2.4 AlexNet	13
2.5 IoU	13
2.6 Non-Maximum Suppression.....	14
2.7 Caffe	15
2.8 Fine-tuning.....	16
2.9 Summary.....	17
Chapter 3 Face Detection Based on Deep CNNs	18
3.1 Object Detection Algorithms.....	18
3.1.1 RCNN	18
3.1.2 DDFD.....	18
3.2 DDFD Face Detection Model	19

3.2.1 Fine-Tuning AlexNet	20
3.2.2 Fully Convolutional Neural Networks	21
3.2.3 Multi-scale Detection	23
3.2.4 Face Localization	24
3.3 Summary	24
Chapter 4 Face Recognition Based on Deep CNNs	26
4.1 VGG Overview	26
4.2 VGG Structure	26
4.3 VGG Features.....	28
4.4 VGG-Face	28
4.4.1 Learning a Face Classifier	29
4.4.2 Relearning Using Triplet Loss	29
4.5 Training Face Recognition Model	29
4.5.1 Dataset.....	30
4.5.2 Calculating Mean	30
4.5.3 Modify Network Structure	30
4.5.4 Modify Slover Parameters	31
4.6 Feature Aggregation	32
4.7 Summary.....	33
Chapter 5 Face Recognition Application Based on Deep CNNs	35
5.1 Application Overview	35
5.2 Experimental Environment.....	37
5.2.1 Hardware Environment	37
5.2.2 Experimental Data	37
5.3 Application of Face Detection Model	38
5.3.1 Generating Training Data.....	38
5.3.2 Network Structures Design	41
5.3.3 Training Network Model.....	42
5.3.4 Face Localization	43

5.4 Application of Face Recognition Model	43
5.5 Experimental Result	48
5.5.1 Experimental Result of Face Detection	48
5.5.2 Experimental Result of Face Recognition	51
5.6 Summary	53
Chapter 6 Conclusions and Prospects	54
6.1 Conclusions	54
6.2 Prospects	54
References	56
Publications	59
Acknowledgements	60

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

人脸识别研究开始于二十世纪六十年代中后期,并随着大数据技术和计算性能的发展,在最近几十年来取得了长足的进步^[1]。人脸具有唯一性,不可复制,信息采集方便,不需要被研究者的配合等优点,是传统的模式识别的一个研究领域,是当今新兴的生物识别的一个重要组成部分。所谓的人脸识别技术,就是将人脸图像或者包含人脸的视频流序列输入计算机进行分析,从而提取出能有效表达人脸图像的特征进行身份辨别,从而达到监督,管理和控制目标的一门技术^[2]。人脸,作为最主要的生物特征,在人们日常交往中起到至关重要的作用,随着深度学习的发展,人脸识别领域必将得到研究人员的重视。

人脸识别作为生物特征识别技术具有巨大的潜在应用前景。例如社会日常生活和工作中的身份识别和验证。尽管有时是无意识的,我们每天都要对许多人的身份做出判断。同时,我们每个人也都随时需要进行身份验证,例如在银行进行金融业务或者进入需要识别的门禁系统等。目前大多数身份验证方式还是依赖于传统手段来实现身份识别,例如采用钥匙,密钥,身份证或卡等各类标识物,然而这些方式会有一些缺点:例如密码可能会盗取或者遗忘;证件、钥匙携带不方便;证件经常会被伪造或者被别人偷用,钥匙可能会丢失,存在安全隐患。

人脸识别还有很多其他应用场景,比如面向银行支付的人脸验证、面向智能视频监控的人脸识别等,尤其是后者,尚处于技术远远不能满足应用需求的状态。为了实现更为鲁棒和准确的识别,需要实现更为精确的面部特征定位,并处理好姿态、夸张表情和人脸老化等难题。

最近几年来,随着模式识别和机器学习理论的发展,人脸识别研究依然是未来一段时间热门研究方向,得到了国内外各知名大学、研究院以及许多公司等相关项目的支持。人脸识别问题之所以得到如此重视,是因为它有着重要理论研究价值和实际应用前景,而且对许多学科的发展也有着巨大贡献。人脸识别研究跨

越了数学、图像处理、模式识别、计算机视觉、人工智能、计算机图形学、认知科学、神经计算等研究领域,并为这些领域的发展提供了良好的实验平台。同时这些学科领域也可以以人脸识别领域为背景研究新方法,创造新理论,解释新观点。

深度卷积神经网络在图像和语音等领域的研究与应用,大大提高了图像识别效果,虽然深度学习和神经网络的基本原理存在了几十年,但最近几年深度学习才得到迅速发展,随着数据量的积累和计算能力的提高,使得深度学习方法比传统机器学习方法性能更好。传统的机器学习算法随着训练数据量的增加,性能会到达一个瓶颈并不在提升,而深度学习的方法随着数据量的增加以及网络规模的增大,会取得一个性能比较好的模型。以人脸识别为例,通过让网络结构学习大量现实世界中拍摄的不同人的人脸照片,包括不同的角度、表情、遮挡等等,深度学习模型会自动学习并逐层提起图片不同层次的特征,在经过学习之后,并能将不同的人脸区分开来^[3]。深度学习有着很强的特征表达能力,在大规模的数据下也很难出现过拟合的问题,因此在将来一段时间之内深度学习会成为图像识别的主要技术。

深度学习与传统模式识别方法的最大不同在于它所采用的特征是从大数据中自动学习得到,而非采用手工设计。好的特征可以提高模式识别系统的性能。过去几十年,在模式识别的各种应用中,手工设计的特征一直处于统治地位。手工设计主要依靠设计者的先验知识,很难利用大数据的优势。由于依赖手工调参数,因此特征的设计中所允许出现的参数数量十分有限。深度学习可以从大数据中自动学习特征的表示,可以包含成千上万的参数。采用手工设计出有效的特征往往需要五到十年时间,而深度学习可以针对新的应用从训练数据中很快学习到新的有效的特征表示。

Labeled Faces in the Wild (LFW)^[4]是当今最著名的人脸识别测试集,有研究表明^[5],如果只把不包括头发在内的人脸的中心区域给人看,人眼在 LFW 测试集上的识别率是 97.53%。如果把整张图像,包括背景和头发给人看,人眼的识别率是 99.15%。经典的人脸识别算法 Eigenface^[6]在这个测试集上只有 60%的识别率。在非深度学习的算法中,最好的识别率是 96.33%^[7]。目前深度学习可以达

到 99.47% 的识别率^[8]。

近年来,随着图像采集设备如相机、智能手机等的普及,以及多媒体平台、社交平台等的飞速发展,人们可以非常方便的共享图片等多媒体资源,关于图像的处理有着非常大的研究意义。

1.2 国内外研究现状

人工智能技术突飞猛进,已经改善了成千上万人的生活,尤其是在深度学习方向,随着数据量的增加,深度学习在图像、语音以及其他很多方面都取得了显著的效果。相较于支持向量机等分类器而言,这些分类器可以用具有一个或两个隐含层的神经网络模拟,因此被称作浅层机器学习模型。它们不再模拟大脑的认知机理;相反,针对不同的任务设计不同的系统,并采用不同的手工设计的特征。深度学习模型强大的特征表达能力,避免了需要很多先验知识并且费时费力的提取特征的工作,使得在线运算效率大大提升。

深度学习就是依据大量的训练数据和深度神经网络模型,提取更有效的特征,最终达到提升实际应用效果的目的^[9]。深层的神经网络结构具有极强的表达能力和学习能力,尤其擅长提取复杂的全局特征和上下文信息,而这是浅层模型难以做到的。将深度学习技术应用到人脸识别领域,人脸识别的精度得到了显著提升。

国内外研究者在人脸识别领域做了很多研究工作,使得人脸识别取得了突破性进展,特别是深度学习方法的广泛使用,如卷积神经网络(Convolutional Neural Networks, CNN)^[10],人们通过收集更多的图像数据,训练更加有效的模型,采取各种方式防止过拟合,以达到提高图像识别的准确率和性能。

目前,国内在人脸识别领域取得了很大的进展。中科院李子青老师研究组在人脸识别领域获得了高度的认可,李老师组最近的一篇文章^[11]阐述了他们在身份验证方面取得的最新的研究成果。国内一些公司都推出了自己的图像识别产品,如百度识图、腾讯优图、北京旷视科技有限公司旗下的 Face++^[12]以及上海依图网络科技有限公司的依图^[13]等等,都在人脸检测、人脸分析以及人脸识

别等方面取得较好的效果。尤其是深度学习在图像处理方面的应用,使得人们提取图像特征更加方便,不需要像传统的特征提取方法一样需要耗费大量的人力。汤晓鸥^[14]团队提出的利用深度神经网络进行人脸特征点检测,通过深度神经网络架构将人脸高层次的特征提取出来,在特征点检测的准确性和稳定性上取得了很好的效果。Alex Krizhevsky^[15]等一大批研究者不断刷新大规模视觉识别挑战赛(ILSVRC)的成绩。微软研究团队^[3]设计的深度学习系统在 ImageNet 2012 中将分类错误率降低到了 5% 以下。ImageNet 是一个公开的数据库,目前总共包括大约 120 多万张训练图片,还分别包括 5 万张验证图像和 10 万张测试图像,这些图片总共被分为 1000 个类别。DeepID^[8; 16; 17]人脸识别模型也刷新了人脸识别在 LFW (Labeled Faces in the Wild)数据库上的记录。除此之外,Facebook 公司的 DeepFace^[18]、Google 的 FaceNet^[19]都是利用深度学习框架进行人脸识别研究,各大公司利用自己独有的优势,通过采集大量的人脸数据,更加合理的网络架构的设计,都取得了显著的成绩。

1.3 论文主要研究内容

本文主要研究的是面向智能视频监控的人脸识别,通过读取网络摄像头的视频信息,对抓取到的视频图像进行人脸检测,然后通过人脸检测检测出是否有人脸并给出人脸的具体位置,然后进行人脸识别,进而应用到实际场景中去,如智能门禁系统等等。

某大学拟对学生公寓目前使用的刷卡式门禁系统进行改造,希望通过人脸识别的方法来进行身份验证,该系统也作为本系统研究的实验验证部分。虽然目前存在一些人脸识别门禁系统,但大多需要测试者配合,正脸面对摄像头采集人脸图像,对环境和拍摄角度等要求较严格,而本文希望能自动完成人脸检测和识别同时保证较高的准确率。深度学习的方法相较于传统的人脸识别方法识别的准确率更高,本文采用深度学习的方法来进行人脸识别的研究。本文主要研究内容包括:

- 1、对深度学习的算法、模型以及框架等的研究。

2、利用深度神经网络进行人脸检测，通过收集海量的人脸作为模型训练的数据，训练了一个全卷积神经网络模型。

3、通过改进已有的深度人脸识别模型，提高人脸识别的精度以及系统的稳定性。

4、通过某大学学生公寓门禁系统的应用，对本文的研究进行了实验验证。通过读取网络摄像头，自动检测人脸，并进行人脸识别。

1.4 论文组织结构

本文通过以下六章对全文进行了详细的介绍，各章主要内容如下：

第一章介绍了深度学习的发展，通过对深度学习在国内外的研究现状揭示了深度学习研究的意义，并简要描述了论文的主要研究内容。

第二章主要介绍了深度学习、神经网络等相关理论知识，还有所使用的深度学习框架和模型以及本文所涉及的相关概念。

第三章介绍了基于深度卷积神经网络的人脸检测算法和模型。

第四章详细介绍了基于深度卷积神经网络的人脸识别的算法和模型。

第五章根据第三章、第四章的算法和模型，设计了一个人脸识别系统，并详细阐述了深度卷积神经网络模型的训练过程以及实际应用效果。

第六章对全文主要内容进行了总结，并根据实际应用中的不足之处制定了下一步的改进方向。

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.